

BIOCLIMATE ANALYSIS OF MOUNTAIN BJELAŠNICA

SANDA ŠUŠNJAR^{1*} MILICA PECELJ²

¹University of East Sarajevo, Department of Geography, Pale, RS, Bosnia and Herzegovina

²Geographical Institute "Jovan Cvijic" SASA, Belgrade, Serbia;

Abstract: The main task of this paper was to assess weather suitability on Bjelasnica Mountain for optimal function of a human organism. Also, this paper represents weather classification for certain types of recreation and sport's activities. For the purpose of bioclimate analyses it has been used Model "MENEX". This paper deals with the assessment of heat exchange between man and its environment. Research is based on a meteorological data from 2000 to 2010. The aim of a research was to determine periods in year on mountain Bjelasnica with optimal climate conditions for recreation and living but also to define periods with mostly unsuitable weather conditions, except for healthy and well adapted persons and specific type of activities.

Key words: Bioclimatology, Human heat balance, Bjelasnica, climate evaluation, recreation

Introduction

Through a science development humans are able to determine suitability of climate conditions for temporary the same as for permanent settlement. Earlier climate analysis was based on assessment of climate conditions in certain period. It was done without considering a complex interaction between climate conditions and optimal functioning of a living beings especially human being. Since early years of XX century, scientist and researchers use bioclimate analysis for assessment of climate influence over human body and its well function. Analysis were done occasionally, for certain places and were usually based on values of meteorological elements as: minimum and maximum temperature, temperature range, the amount of precipitation and bioclimate or climate indices: Wind Chill Index, Equivalent and Effective Temperature, Cooling capacity, Heat capacity etc. However, complete assessment of weather influence over human organism requires investigation of physiological responses in human body to certain types of weather conditions. Therefore, this type of analysis is based on research of heat balance between man and its surroundings. Numerous bioclimate analysis are based on a human heat balance or man-environment heat exchange. This paper represents bioclimate analysis of mountain „Bjelašnica“ in accordance with Krzysztof Blazejczyk's model 'MENEX' (Blazejczyk K., 1994).

Geographical position

Mountain Bjelasnica is located in central part of Bosnia and Herzegovina, southwest from a capital city Sarajevo. Bjelasnica is a part of central bosnian range of Inner or High Dinarides. The highest peak is called 'Opservatorija', located 2067 m above sea

* E-mail: sanda.susnjar@gmail.com

level. At the top of the peak is located synoptic weather station, which is one of the highest weather stations in Southeast Europe. Geographical coordinates of weather station are: 43°42'02" N and 18°15'27" E. This bioclimate analysis is based on monthly values of meteorological data from 2000 to 2010.

Its geographical position and spatial orientation indicates this mountain as a natural barrier between South and North, Herzegovina and Bosnia as regions and finally it represents main confrontation area between different air masses: Sub Mediterranean from the South and continental air masses from the North. Accordingly, mountain Bjelasnica is characterized as a place with a strong winds and high amount of precipitation in the Spring, Autumn and Winter.

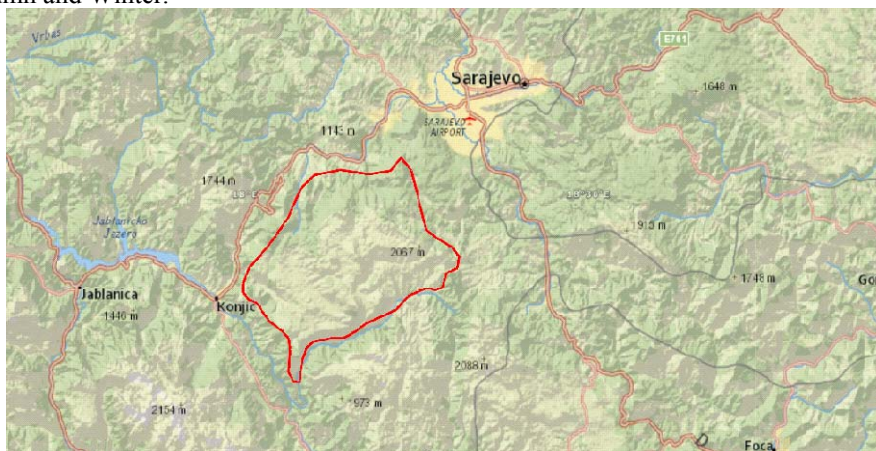


Figure 1. Geographical position of mountain Bjelasnica in Bosnia and Hercegovina

Methods

This analysis is based on Kryztof Blazejczyk model 'MENEX'. Blazejczyk's model is used to assess bioclimate suitability of the certain area according to interactive relations between weather conditions and physiological processes in man. Model was published in 1994 by the name 'MENEX' (The Man ENvironment heat EXchange model). Last time it was updated in 2005 (Blazejczyk K., 2005).

According to Blazejczyk model, bioclimate analyses depend on human heat balance and resultant value of heat exchange between man and its environment. „ Heat balance model between man and its surrounding include all the mechanisms of heat exchange resulting termoregulatory processes in human body (Пецељ М. и Пецељ Ј., 2011). According to Blazejczyk, heat balance between man and its environment can be expressed by the equation:

$$M + Q + C + E + Res = S$$

where:

- M (metabolic heat production)
- Q (radiation balance of man; absorbed Solar radiation, R and long-wave radiation by man, L),
- Q = R+ L
- C (heat exchange by convection),
- E (heat loss by evaporation),
- Res (heat loss by respiration)
- S (net heat storage equal changes in body heat content).

If S is equal to 0 then can be considered that heat gained is equal to heat lost. However, in particular moments the S has positive or negative values. If $S > 0$ than body losses more heat than it gains from its surroundings. Finally, if $S < 0$ then the accumulated heat in the body is greater than heat transmitted to its surrounding area.

Bioclimate analysis based on model “MENEX” demands meteorological elements and physiological parameters.

Table 1. Parameters used for model MENEX

Meteorological parameters	Physiological parameters
Air temperature ($T_{sr}, T_{max}, T_{min}, ^\circ C$)	Skin temperature ($T_s, ^\circ C$)
Air pressure (p, hPa)	Skin wettedness coefficient (w , dimensionless),
Air vapour pressure (e, hPa)	Metabolic heat production (M, Wm^{-2})
Relative air humidity ($f, \%$)	Clothing Insulation (I_{cl}, clo)
Wind speed (v, ms^{-1})	Albedo of skin/clothing ($ac, \%$)
Cloudiness ($N, \%$)	Velocity of man (v', ms^{-1})
Ground temperature ($T_g, ^\circ C$)	
Sun altitude ($h_{SI}, ^\circ$)	

These parameters are used to calculate and define energetic state of a human organism in various weather conditions and to calculate biometeorological indices such as: Subjective temperature, Physiological strain in man, Physiological subjective temperature, Heat load in man, Dehydration risk, Overcooling risk, Weather Suitability Indices etc. Calculation can be done using complex thermodynamic equations or using the software package BioKlima 2.6

All the above mentioned weather data were observed and measured at the weather station Bjelasnica, except ground surface temperature T_g and Solar radiation which were calculated using mathematical equations.

Metabolic heat production (M) is a result of long-term empirical researches and is assessed according to ISO 8996. Accordingly, average metabolic heat production is $135 Wm^{-2}$ (Blazejczyk K., 1994). Metabolic rate represents basal metabolic heat production plus heat produced by the human body due to the performance of certain types of physical activity. Metabolic rate depends on physical activity and is expressed in unit called 'met'. 1 met is equal to $58.2 Wm^{-2}$, whereby the heat is emitted through the skin. In this paper it was used average value of body surface area, approximately $1.8 m^2$ for man, and $1.6 m^2$ for woman (Arnold E. and Bender D. A., 1995).

Clothing insulation is expressed by unit “clo” representing the amount of insulation that allows a person at rest to maintain thermal equilibrium in an environment at $21^\circ C$, and relative air humidity of 50 %. Even though clo is not an international unit it is used in MENEX model. International unit for thermal resistance is m^2KW^{-2} where 1 clo is equal to $0,15 m^2KW^{-2}$. In this analysis it has been used value of 1 clo what suits for standard working clothes.

Albedo of skin, velocity of man and clothing insulation are used as constant values calculated by mathematical equations. Accordingly: Albedo of skin $ac=30\%$, Velocity of man $v'=1,1 ms^{-1}$ and Clothing Insulation $clo=1$ clo.

Model MENEX could be used for assessing several bioclimate and thermophysiological indices. For the purpose of this analysis calculation includes 5 indices: Subjective temperature (STI) value expressed in $^\circ C$, Physiological Subjective temperature (PST) in units $^\circ C$, Physiological Strain in man (PhS), dimensionless, Heat load (HL), dimensionless and Weather Suitability Indices (WSI).

Subjective Temperature (STI, $^\circ C$) is an index that illustrates the thermal stimuli subjectively felt by a man and caused by the ambient environment before the activation of the adaptation processes. The STI depends both on ambient conditions (temperature, solar

radiation, wind, humidity) and on the man-environment heat exchange. Thus STI indicates thermal load formed in the air layer surrounding the outer layer of clothing. Thermal impacts of environment are expressed by mean radiant temperature. Physiological response of an organism is represented by net heat storage S.

Physiological Subjective Temperature (PST, °C) represents subjective feeling of thermal environment by man. Thermal sensations in humans are an effect of signals from cold and/or warm receptors in the skin and in the nervous system. Thermal impacts of the environment are expressed by mean radiant temperature surrounded skin surface. The signals from temperature receptors activate physiological reactions of an organism to keep thermoregulation. Physiological Subjective Temperature illustrates the level of thermal stimuli that form around the skin surface after 15-20 minutes of intensive adaptation processes.

Physiological Strain index (PhS, dimensionless) indicates which physiological processes adapt human organism to given outdoor conditions. PhS indices depends of the ratio between convective and evaporative fluxes.

Heat Load of an organism (HL, dimensionless) represents a thermal load of central thermoregulative system caused by intensive processes of adaptation on the environment. HL is calculated basing on net heat storage S, absorbed solar radiation and evaporative heat loss.

Table 2. The scales of indices Subjective Temperature, Physiological Subjective Temperature, Physiological Strain and Heat Load

Subjective Temperature STI (°C)	Physiological Subjective Temperature PST (°C)	Physiological Strain PhS	Heat Load HL
$x \leq -38.0$ extreme cold	$x \leq -36.0$ frosty	-	-
$-38.0 - -20.1$ very cold	$-36.0 - -16.1$ very cold	$x \leq 0.0$ extreme hot strain	$x \leq 0.250$ extreme cold stress
$-20.0 - -0.5$ cold	$-16.0 - 4.0$ cold	$0.0 - 0.24$ great hot strain	$0.251 - 0.820$ great cold stress
$-0.4 - 22.5$ cool	$4.1 - 14.0$ cool	$0.25 - 0.74$ moderate hot strain	$0.821 - 0.975$ slight cool stress
$22.6 - 31.9$ comfortable	$14.1 - 24.0$ comfortable	$0.75 - 1.50$ thermoneutral (slight strain)	$0.976 - 1.025$ thermoneutral
$32.0 - 45.9$ warm	$24.1 - 34.0$ warm	$1.51 - 4.0$ moderate cold strain	$1.026 - 1.180$ slight warm stress
$46.0 - 54.9$ hot	$34.1 - 44.0$ hot	$4.01 - 8.0$ great cold strain	$1.181 - 1.750$ great hot stress
$55.0 - 69.9$ very hot	$44.1 - 54.0$ very hot	$x \geq 8$ extreme cold strain	$x \geq 1.751$ extreme hot stress
$x \geq 70.0$ sweating	$x \geq 54.0$ sweltering	-	-

Source: (Blażejczyk, K., 2005)

Weather Suitability Index (WSI) evaluates usefulness of various weather conditions for different forms of recreation and tourism. The most common forms are: sun baths (staying in the sunny place - WSI_SB), air baths (staying in the shaded place - WSI_AB), mild recreational activity (e.g. walking, light plays, shopping - WSI_MR), intensive recreation and summer tourism (e.g. football, biking, climbing, jogging etc. - WSI_AR), ski tourism (WSI_ST) (Blażejczyk K., 2008. p. 65).

Table 3. Values of Weather Suitability Index

range	Weather Suitability Index
0	unsuitable
1	suitable with limitations
2	suitable
3	suitable without limitations

Source: (Błażejczyk K., 2008)

Results

Table 4. represents values of calculated bioclimate indices for mountain Bjelasnica: Subjective Temperature, Physiological Subjective Temperature, Physiological Strain and Heat Load. Beside the above mentioned indices, Table 4. shows a weather evaluation for certain type of recreation and leisure activities.

Table 4. Average monthly values of bioclimate indices on mountain Bjelasnica

	STI (°C)	PST (°C)	PhS	HL	WSI _{SB}	WSI _{AB}	WSI _{MR}	WSI _{AR}	WSI _{ST}
Jan	-7.20	-7.3	8.6	0.96	0	0	1	1	1
Feb	-4.60	-5.9	9	0.96	0	0	1	1	1
Mar	1.80	-3.3	7.3	0.97	0	0	1	1	1
Apr	9.30	0	5.3	0.98	0	0	1	1	1
May	17.40	3.6	3.9	0.99	0	0	1	1	1
Jun	23.50	6.5	2.9	0.99	1	0	1	1	0
Jul	25.90	7.4	2.6	1	1	0	1	1	0
Aug	33.80	12.3	2.5	1	1	1	1	1	0
Sep	17.30	3.5	3.7	0.99	0	0	1	1	0
Oct	11.50	0.8	4.5	0.99	0	0	1	1	1
Nov	2.40	-3.3	6.1	0.97	0	0	1	1	1
Dec	-5.30	-6.6	8	0.96	0	0	1	1	1

The lowest Subjective temperature was registered in January -7.2°C . According to humans subjective sensation, periods with temperature below 0°C lasts for three months: January, February and December, while the rest of the year Subjective temperature is positive with highest values from April to September.

Due to scale for STI index which was presented in Table 2. January, February and December are months of cold thermal stimuli, while weather conditions from March to June and from September to November caused cool sensation in man. The most suitable weather conditions are in summer months from June to August. Optimal weather conditions for low intense activity on mountain Bjelasnica are in Jun and July. The highest Subjective temperature 33.8°C is registered in August cause by warm sensation in man.

Physiological Subjective Temperature was the lowest in January -7.3°C . Even though Physiological Subjective Temperature rises it is still below 0°C . Accordingly, from January to May thermal stimuli is cold and it causes intensive adaptation processes. The same reaction of human organism is in May although PST is positive. In August physiological subjective temperature is 12.3°C what causes cool thermal stimuli in man. Also, Physiological Subjective Temperature is the closest to its optimum (from 14.1°C do

24°C) in August month. From September to December physiological subjective temperature drops under 0°C reaching its minimum in December (-6.6°C). In this period body reacts on a cold environment.

Physiological Strain in man has value above 4.0 from January to April. Accordingly, this is a period of great cold stress. From May to September physiological responds of a human organism is moderate. In last three months of the year, great cold physiological strain occurs.

Cold Physiological Strain on Bjelasnica is the greatest in February, and after that the intensity of physiological strain gradually decreases. During summer months moderate cold strain occurs. Physiological strain gradually increases from August to December reaching the level of a great cold physiological strain in December. Finally, It is possible to conclude that during the entire year on mountain Bjelasnica occurs cold physiological strain. Thus the intensity of thermoregulation processes decreases from colder period to warmer period of the year, leading to moderate adaptive responds in cold environment from May to September.

Heat Load in January, February and December has value 0.96 what represents slight cool stress of an organism. Heat Load, on mountain Bjelasnica, has maximum value in July and August (1.0). This is a time with thermoneutral intensity of heat load. March and November with its value 0.97 are months of slight cool stress. Eventually, period from April to October can be characterized as thermoneutral with high level of comfort.

Weather conditions on Mountain Bjelasnica are unsuitable for Sun bath activity (WSI_SB) in most of the time during the year, except 3 months from June to August when prevails weather with limited suitability for staying on a sunny place. Also, this is a period of maximal temperatures, low percentage of cloudiness and minimal relative humidity on mountain Bjelasnica.

WSI_AB or Weather Suitability Index for air bath activity shows that weather on mountain Bjelasnica is generally unsuitable for this activity, except in August when occurs moderate suitability or suitability with limitations. Accordingly, August could be characterized as a time with the lowest wind speed (4ms^{-1}), the lowest percent of cloudiness (50%) monthly maximum temperature (11.0°C) and the lowest relative humidity (74%) of the year.

WSI_MR or Index of weather suitability for mid recreational activity on Bjelasnica during the entire year is marked with 1 presenting moderate or weather suitability with limitations for activities as walking, light plays, shopping. Weather Suitability Index for Intensive recreation and summer tourism (WSI_AR) has value 1 during the entire year what represents weather suitability with limitations for activities like: football, biking, climbing, jogging etc. On mountain Bjelasnica weather is suitable for winter or ski tourism (WSI_ST) for 8 months from January to May and from October to December. Time from June to September is unsuitable for ski tourism because the lack of snow in this part of the year, what can be seen from data in table 5.

Table 5. Monthly amounts of snow on Bjelasnica (2000-2010)

month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Σ
snow (cm)	141	183	225	168	56	6	0	0	5	14	49	85	932

Accordingly, this is a time with maximum air temperatures, minimal cloudiness and with low snow level or even without snow in July and August. So, weather on mountain Bjelasnica, is suitable for ski tourism for 8 months. Just 4 months are considered to be unsuitable for winter tourism.

Table 6. Classification of activities according to human energy expenditure

Level of physical activity	Energy expenditure in MET	Energy expenditure in Wm^{-2}	Activity
Light physical activity	1 – 4	58- 232	Standing still, walking ($v=1.4\text{ ms}^{-1}$), snowballing, motorcycle and car driving
Hard physical activity	4.1 – 8	237- 464	volleyball playing, driving bicycle ($v_{\max}= 4.1\text{ ms}^{-1}$), gymnastics, skating(до 5 ms^{-1}), skiing($v=2.5\text{ ms}^{-1}$), nord skiing, alpe skiing, mountaineering, orienteering
Very hard physical activity	$\square 8$	$\square 464$	bicycle driving($v=8\text{ ms}^{-1}$), basketball, marathon, long jumping, racing skates ($v= 10\text{ ms}^{-1}$), running($v \square 4.2\text{ ms}^{-1}$), diving

Source: (Jette M., Sidney K. and Blümchen G.,1990).

Conclusion

It is important to emphasize that bioclimate analysis of mountain Bjelašnica is based on meteorological data of 11 years, from 2000 to 2010. Physiological parameters were given as a constant values: matabolic heat production 135 Wm^{-2} , according to International standards ISO 8996 it suits for 30 year old male, (weighting 75 kg, 175 cm high with the body surface area 1.8 m^2) and female (30 year old, weighting 65 kg, 170 cm high and with body surface area 1.6 m^2) in constant motion speed 4 kmh^{-1} . Also, bioclimate analysis of mountain Bjelasnica is based on man wearing working clothes (standard business suit) what is expressed with clothing insulation 1 clo ($0.155\text{ m}^2\text{KW}^{-1}$). In this case, net heat storage (S) on mountain Bjelasnica has negative value during the entire year even in the summer. Thus, aiming to establish thermal equilibrium between man and its environment, it is necessary to stop heat losing by wearing multi-layer clothes (1.10-1.90) in summer time and approximately 3 clo in winter.

Also, this analysis is based on monthly meteorological data during the period of eleven years what gives just general values of thermal fluxes at this area. Thus, for complete bioclimate analysis it would be necessary to provide daily meterological data.

Finally, result of bioclimate analysis on mountain Bjelsnica show predominance of heat losses during the year. However, as it was highlighted earlier in this paper, those results occurred due to constant value of clothing insulation parameter, what could caused constant heat losses over the year. Accordingly, heat losses are greater in winter time with decreasing tendency toward warmer time of the year.

At the end of this paper, it is important to emphasize that adjusting of clothing insulation and the intensity of physical activities we would be able to decrease heat losses of an average man, while healthy and well adapted persons can successfully meet their recreation needs on mountain Bjelasnica just by wearing multi-layer clothes what prevents body to release its heat in the surrounding area and by consuming food like carbohydrates as it compensates some of the heat lost during the physical activity.

Reference

- Arażny A. (2006). Variability of the predicted insulation index of clothing in the Norwegian Arctic for the period 1971–2000, *Polish polar research*, vol. 27, nr. 4, pp. 341–357.
- Arnold E. and Bender D. A. (1995). *Body Surface Area, A Dictionary of food and nutrition*, Oxford University Press, New York
- Blazejczyk K. (2005). MENEX_2005 The revised version of Man-Environment Heat-Exchange Model, www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/menex.htm
- Blazejczyk K. (2004). Radiation Balance in Man in Various Meteorological and Geographical Conditions, *Geographia Polonica*, PL ISSN 0016–7282, 77(1), 63–76.
- Blazejczyk, K. (2001). Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance. *Proceedings of the First International Workshop on Climate Tourism and Recreation, Neos Marmaras, Greece*, WP01, 133-152.
- Blazejczyk, K. (1994). New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales, *Zeszyty IgiPZ PAN*, Nr. 28, 27-58.
- Blazejczyk, K. (2008). Bioclimatic principles of health tourism. *TIES Conference Reports*, R-01-2009, 20, pp. 28-43.
- Вујевић, П. (1961). Прилози за биоклиматологију области Копаоника, *Зборник радова Географског института „Јован Цвијић“*, 18, 1-79.
- Дукић, Д. (1967). *Климатологија са основама метеорологије*. Београд: Научна књига
- Jette M., Sidney K. and Blümchen G. (1990). Metabolic Equivalence in Exercise Testing, *Exercise Prescription and Evaluation of Functional Capacity*, Department of Kinanthropology, School of Human Kinetics, University of Ottawa, Clinical Cardiology, Ottawa, Canada, Nr. 13(8), pp. 555-565.
- Крајић, А. (2012). Људски топлотни баланс на подручју Новог Сада, *Гласник српског географског друштва, Београд, Србија*, 92(4), 99-112.
- Matzarakis, A. de Freitas, C.R., Scott, D. (eds.) (2007): *Developments in Tourism Climatology*. Commission Climate, Tourism and Recreation. International Society of Biometeorology: Matzarakis A. and Rutz F. RayMan: A tool for tourism and applied climatology, December, pp. 129-138.
- Pecelj, M. (2013). Bioclimatic indices based on the menex model: Example on Banja Luka, *Geographical Institute Jovan Cvijić, SASA, Belgrade Serbia*, 63(1), 1-10.
- Пецељ, М. и Пецељ Ј. (2011). Могућност примене биоклиматских истраживања у бањском туризму, *Трећу конгрес српских географа, 12-13. Октобар, Banja Luka, R.S., BiH*, 1, 268-280.
- Havenith G., Holmer I. and Parsons K. (2002) Personal factors in thermal comfort assesment: clothing properties and metabolic heat production, Department of Human Sciences, Human Thermal Environments Laboratory, Loughborough University, Loughborough, Leicester, UK vs. Climate Research Group, *National Institute for Working Life, Solna, Sweden, Energy and Buildings*, nr. 34. pp. 581-591
- *** (2000-2010) Meteorological yearbook (2013). *Federal Institute for Hydrometeorology*. Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, June, 10-11.
- <http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/KLIMATOLOGIJA/godisnjaci.php> (September, 2013, 19:48:30)
- http://www.researchgate.net/...Assessment_of_bioclimat... (July, 2013, 0:25:07)
- http://www.igipz.pan.pl/tl_files/igipz/ZGiK/opracowania/indywidualne/blazejczyk/gis.pdf (September, 2013, 14:47:03)
- http://www.engineeringtoolbox.com/clo-clothing-thermal-insulation-d_732.html (September, 2013, 14:11:05)
- <http://www.polar.pan.pl/ppr27/ppr27-341EN.htm> (September, 2013, 22:34:14)
- http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/publications/08_indoor-air_linden.pdf (September, 2013, 17:25:24)
- <http://www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/menex.htm> (September, 2013, 2 September, 19:35:13)
- http://www.engineeringtoolbox.com/metabolism-clothing-activity-d_117.html (September, 2013, 19:33:00)
- http://www.engineeringtoolbox.com/human-body-work-effort-heart-response-d_1470.htm (September 2013, 19:33:00)
- http://wiki.naturalfrequency.com/wiki/Metabolic_Rate (September, 2013, 19:48:16)
- <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clc.4960130809> (September, 2013, 20:06:51)
- http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/cold_working.html (September, 2013, 20:17:31)
- <http://www.mif.uni-freiburg.de/isb/ws3/report.htm> (August, 2013, 20:27:13)
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17599786> (September, 2013, 18:00:49)
- http://www.urbanclimate.net/.../georgia_2008_TCI.pdf (September, 2013, 23:35:15)
- <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/solcalc/azel.html> (August, 2013, 13:42:56)
- Software
- Blazejczyk M. (1990-2010), BioKlima for Windows v. 2.6, <http://www.igipz.pan.pl/Bioklima-zgik.html>
- ArcGis Explorer Desktop

БИОКЛИМАТСКА АНАЛИЗА ПЛАНИНЕ БЈЕЛАШНИЦЕ

САНДРА ШУШЊАР¹, МИЛИЦА ПЕЦЕЉ²

¹ *Универзитет у Источном Сарајеву- Департман за географију, Пале, РС, Босна и Херцеговина*

² *Географски институт "Јован Цвијић", САНУ, Београд, Србија*

Сажетак: Рад се бави утврђивањем повољности климатских услова на планини Бјелашници са становишта оптимално функционисања људског организма и провођења одређених видова рекреације. За потребе анализе кориштен је модел „MENEX“, Кристофа Блажејчика. Модел се базира на изучавању топлотног биланса људског организма, односно топлотне размјене на релацији човјек-околина. Истраживање је засновано на мјесечним метеоролошким мјерењима и осматрањима, вршеним у периоду од 2000. до 2010. године. У раду су утврђени периоди током године када преовладавају оптимални климатски услови за боравак и рекреацију и периоди климатских услова погодних за боравак искључиво здравих аклиматизованих особа уз примјену специфичних видова рекреације.

Кључне ријечи: Биоклиматологија, људски топлотни биланс, Бјелашница, климатска валоризација, рекреација

Увод

Човјек као разуман представник живог свијета је кроз развој науке добио могућност да испита климатске карактеристике и благовремено установи повољност одређеног подручја како за привремени боравак тако и за трајно насељавање. Раније климатске анализе су укључивале само вриједности метеоролошких елемената у одређеном периоду без сагледавања комплексног утицаја датих елемената на живе организме, првенствено човјека. У XX вијеку, за одређивање утицаја климе на човјека и његове физиолошке функције користи се биоклиматска анализа. Анализе су рађене тек спорадично, искључиво за поједине предјеле на земљи, а сама анализа се заснивала на вриједностима метеоролошких елемената: минималне и максималне температуре, температурне амплитуде, количине падавина те основних биоклиматских или климатских индекса: осјећаја угодности, ефективне и еквивалентне температуре, моћи хлађења, моћи сушења итд. Међутим, да би се извршила комплекснија процјена утицаја климатских услова на људски организам, неопходно је да поред анализе метеоролошких услова на неком простору узети у обзир и повратну реакцију људског организма на дате метеоролошке услове. Такав приступ анализи полази од топлотног биланса између човјека и околине. Бројне биоклиматске анализе базирају су на изучавању енергетског биланса људског организма односно размјене топлоте са околним простором под одређеним метеоролошким околиностима. У овом раду кориштен је модел „MENEX“, Кристофа Блажејчика у сврху биоклиматске анализе простора планине Бјелашнице (Blazejczyk K. 1994).

Географски положај

Планина Бјелашница налази се у централном дијелу Босне и Херцеговине, југозападно од главног града Сарајева. Заједно са сусједним планинама Јахорином, Трескавицом и Височицом припада централнобосанском масиву Унутрашњих или Високих Динарида. Највиши врх планине је „Опсерваторија“ 2067 m. На самом врху је позиционирана метеоролошка станица, једна од највиших на Балкану. Географске координате метеоролошке станице: 43°42'02" N и 18°15'27" E. Бјелашница својим географским положајем и просторном орјентисаношћу представља природну баријеру између југа и сјевера, односно Херцеговине и Босне, те чини главни простор конфронтације два климатска типа: субмедитеранске климе са југа те континенталних климатских утицаја са сјевера. Из наведеног разлога, Бјелашницу карактерише честа

појава јаких вјетрова и велика количина падавина током прољетних, јесењих и зимских мјесеци.

Методологија и методе рада

Биоклиматска анализа геопростора Бјелашнице базира се на примјени методе MENEX. Блажејчик је анализу биоклиматске погодности неког простора засновао на истраживању интеракције између физиолошких процеса код човјека и метеоролошких услова атмосфере. Модел је први пут публикован 1994. године под именом “MENEX“ (The Man ENvironment heat EXchange model). Метод је последњи пут допуњен 2005. године (Blazejczyk K., 2005).

Према Блажејчику, биоклиматска анализа се заснива на утврђивању степена топлотне уравнотежености организма, односно на анализи топлотне размјене између човјека и његове околине. „Модел топлотног биланса између човјека и околине подразумјевају све механизме топлотне размјене који као крајњи циљ имају одржавање терморегулације у тијелу.“ (Пецељ М. и Пецељ Ј., 2011) Према Блажејчику, топлотни биланс између човјека и околине може се изразити сљедећим обрасцем:

$$M + Q + C + E + Res = S$$

гдје је:

- M (метаболичка производња енергије)
- Q (радијациона равнотежа човјека; апсорбовано Сунчево зрачење, R и дуготаласно зрачење човјека, L),
- Q = R + L
- C (размјена топлоте конвекцијом),
- E (евапорација),
- Res (топлотни губици усљед дисајног процеса)
- S (укупна ускладиштена топлота тј. топлотни биланс тијела).

Уколико је топлотни биланс тијела S једнак 0, може се сматрати да је енергетски биланс тијела уравнотежен, тј. количина топлоте коју тијело изгуби једнака је количини топлоте коју тијело прими. Уколико је $S < 0$ тијело емитује више топлоте него што је прими од околног простора, односно, ако је $S > 0$ тијело акумулира више топлоте него што је троши или одаје околном простору.

У процесу израчунавања базираном на моделу MENEX, неопходно је познавати метеоролошке и физиолошке параметре.

Утврђивањем наведених вриједности могуће је установити енергетско стање организма при одређеним временским условима и израчунати низ термофизиолошких и биоклиматских индекса као што су: субјективна температура, физиолошко напрезање, физиолошка субјективна температура, топлотно оптерећење организма, ризик од дехидрације, ризик од прехлађивања, ризик од хипотермије, индекс временске погодности, итд. Прорачуне је могуће вршити помоћу сложених термодинамичких образаца или једноставније, уз примјену софтверске апликације BioKlima 2,6

Вриједности метеоролошких елемента употребљених у сврху анализе добили смо на основу мјерења и осматрања на метеоролошкој станици Бјелашница, изузев података о температури ваздуха на самој површини земљишта T_g и вриједности Сунчевог зрачења, које смо добили на основу математичког прорачуна.

Вриједности попут метаболичке производње (M) резултат су дуготрајних емпиријских истраживања и утврђене су стандардима Међународне организације за стандардизацију ISO 8996. Према наведеним стандардима, просјечна метаболичка енергетска производња организма износи 135 Wm^{-2} (Blazejczyk K. 1994). Стопа метаболизма представља базалну или основну метаболичку продукцију увећану за вриједност енергије произведене од стране људског тијела услед обављања одређене врсте физичке активности. Метаболичка стопа се пропорционално физичкој активности човјека изражава у јединицама “*met*”. Вриједност 1 *met* одговара енергетској вриједности људског тијела у износу од $58,2 \text{ Wm}^{-2}$, при чему се енергетска емисија врши преко коже. Површина коже код човјека варира и зависи од низа параметара као и грађе и конституције човјека. За потребе ове анализе кориштена је просјечна вриједност површине коже која код одрасле особе мушког пола износи $1,8 \text{ m}^2$ док је за особе женског пола вриједност $1,6 \text{ m}^2$ (Arnold E. and Bender, D. A., 1995).

Такође, израз изолационе моћи одјеће представљен је јединицом “*clo*”, при чему је вриједност од 1 *clo* једнака оптималној топлотној изолацији човјека у мировању при температури 21°C и релативној влажности 50%. *Clo* није стандардна међународна јединица али се користи за потребе MENEX модела. Међународна јединица за термичку отпорност (изолацију) је m^2KW^{-2} при чему је $1 \text{ clo}=0,15 \text{ m}^2\text{KW}^{-2}$. За потребе биоклиматске анализе Бјелашнице као референтну вриједност кориштен је износ од 1 *clo*, који одговара пословно обученој особи.

Вриједности за алbedo људске коже (*ac*), средња брзина човјека у покрету (*v'*) као и изолациони фактор (*clo*), такође су константне вриједности изведене на основу математичких прорачуна. Према томе:

- Алbedo коже $ac=30\%$,
- Средња брзина човјека у покрету $v'=1,1 \text{ ms}^{-1}$
- Изолација одјеће $clo=1 \text{ clo}$.

Као резултат примјене модела “MENEX“ добија се низ биоклиматских и термофизиолошких биоклиматских индекса који се могу анализирати и упоређивати. За потребе анализе угодности издвојени су следећи термофизиолошки биоклиматски индекси: субјективна температура (STI) изражена у $^\circ\text{C}$, физиолошка субјективна температура (PST) у $^\circ\text{C}$, физиолошко напрезање (PhS) бездимензиона величина, топлотно оптерећење у човјеку (HL), бездимензиона величина и индекс временске погодности (WSI).

Субјективна температура (STI, $^\circ\text{C}$) је индекс који представља термичко оптерећење које осјећа човјек под дејством услова околне средине, прије него што дође до активирања процеса адаптације. Субјективна температура зависи не само од услова који владају у датој средини (температуре, сунчевог зрачења, брзине вјетра, релативне влажности ваздуха), него и од топлотне размјене на релацији човјек-околина. STI индекс представља термичко оптерећење које се формира у ваздуху непосредно изнад спољног слоја одјеће. Топлотни утицај околине огледа се у виду температуре зрачења док је физиолошка реакција организма представљена као укупна топлотна акумулација S (Blazejczyk K., 2005).

Физиолошка Субјективна Температура (PST, $^\circ\text{C}$) представља субјективни осјећај топлотног окружења од стране човјека. Осјећај топлоте код човјека настаје као посљедица активације рецептора за хладно и топло који посредством нервног система шаљу сигнале до мозга који успоставља одговарајући одговор на надражај у виду терморегулације организма. Термички утицај средине изражава се средњом температуром зрачења на површини коже. Физиолошка Субјективна Температура

представља ниво термичког стимуланса који настаје непосредно близу површине коже након 15-20 минута интензивног процеса адаптације.

Физиолошко напрезање (PhS, бездимензиона величина) индекс којим се изражава интензитет процеса адаптације у хладном или топлом окружењу. Зависи од основног флукса испаравања и флукса конвекције.

Топлотно оптерећење у човјеку (HL, бездимензиона величина) одражава оптерећење централног система за терморегулацију усљед процеса адаптације на средину у којој се човјек налази. У процесу одређивања топлотног оптерећења човјека користе се три главна топлотна флукса: укупна акумулирана топлота (S), апсорбована соларна радијација (R) и топлотни губици испаравањем (E).

Индекс временске погодности (The Weather Suitability Index – WSI) представља „вредновање временских стања за различите врсте активности које је могуће упражњавати у природи: за сунчање – SB (тј. за стајање на осунчаном простору WSI_{SB}), за тзв. „провјетравање“ – AB (тј. за стајање на свјежем ваздуху у хладовини – WSI_{AB}), за комбиноване активности – MR (нпр. шетња, лаке игре, куповина – WSI_{MR}), за интензивне активности – AR (нпр. фудбал, бициклизам, планинарење, цогирање итд. – WSI_{AR}) и за скијање и остале зимске спортове – ST (WSI_{ST})” (Błażejczyk K., 2008. стр. 65).

Резултати истраживања и дискусија

У табели 4. приказане су резултујуће вриједности биоклиматских индекса: субјективне температуре, физиолошке субјективне температуре, физиолошког напрезања и топлотног оптерећења људског организма. Поред поменутих индекса, дата је и типизација времена на Бјелашници за потребе одвијања различитих врста активности, односно рекреације.

Предочене су вриједности субјективне температуре на планини Бјелашници, за сваки мјесец у години. Најнижа субјективна температура забиљежена је у мјесецу јануару и износи $-7,2^{\circ}\text{C}$. Према субјективном осјећају човјека, период када се температура спушта испод нуле траје три мјесеца и то јануар, фебруар и децембар, док остале мјесеце у години карактеришу позитивне вриједности субјективне температуре, нарочито од мјесеца априла до мјесеца септембра.

Према степену удобности приказаном у табели 2. утврђено је да мјесеце јануар, фебруар и децембар човјек осјећа као хладне, док се у периоду од марта до јуна, те у септембару, октобру и новембру, јавља термофизиолошка реакција организма на прохладно вријеме. Најпогоднији услови за боравак на Бјелашници, уз лагану физичку активност, владају у току 3 љетна мјесеца: јуни, јули и август. Нарочито се истичу мјесеци јуни и јули када на Бјелашници владају термички услови које човјек региструје као оптималне тј. угодне. Мјесец август карактерише највиша вриједност STI индекса у години која износи $33,8^{\circ}\text{C}$, односно период топлотне времена.

Према приказаним вриједностима мјесец јануар одликује најнижа годишња вриједност PST индекса $-7,3^{\circ}\text{C}$, те да од јануара до априла вриједност наведеног индекса расте али је и даље испод нуле. У складу са одговарајућим квалитативним изразом у табели 2. вриједности PST индекса од мјесеца јануара до маја упућују на осјећај хладноће код човјека. Топлотно окружење у мајском периоду изазива једнак осјећај хладноће у човјеку иако је физиолошка субјективна температура у мају позитивна.

Мјесец август карактерише вриједност PST индекса у износу $12,3^{\circ}\text{C}$ што према субјективном физиолошком одговору људски организам осјећа као прохладно вријеме. Ово је уједно и мјесец у ком се биљежи температура најближа оптималној вриједности PST индекса (опсег од $14,1^{\circ}\text{C}$ до 24°C). Од 9. до 12. мјесеца PST биљежи

константан пад температуре, која од мјесеца новембра има негативну вриједност (-3.3°C новембар и -6.6°C децембар). Назначени период људски организам перципира као хладно вријеме.

PhS индекс, у периоду од јануара до априла биљежи вриједност већу од 4.0. Према одговарајућим вриједностима наведеним у табели 2. уочљиво је да временски период од наведена 4 мјесеца (јануар-април) карактерише велико хладно напрезање организма. Од мјесеца маја до септембра физиолошка реакција организма је у виду умјерено хладног напрезања. У задњем тромјесечју године такође биљежимо велико хладно напрезање организма.

Физиолошко напрезање организма је највеће у зимском периоду, нарочито у мјесецу фебруару, након чега физиолошко напрезање постепено опада, да би у љетном периоду имало вриједности умјерено хладног напрезања. Од мјесеца августа постепено расте физиолошко напрезање организма и у мјесецу децембру влада велико хладно напрезање. Према поменутом, констатујемо да простор Бјелашнице, при наведеним условима људске активности и стандардној одјеვენости (пословно одјело), одликује реаговање човјековог организма на хладно окружење. Под наведеним околностима, хладни период године (од јануара до априла, а затим од октобра до децембра) изазива веома интензивне терморегулационе процесе у тијелу, док је у периоду од мјесеца маја до септембра, адаптација организма умјеренија.

Топлотно оптерећење у мјесецима јануару, фебруару и децембру износи 0,96, па је то период кад се код човјека јавља интензивније топлотно оптерећење изражено у виду реакције организма на прохладно вријеме. Максималне вриједности HL индекса (1,0) забиљежене су у мјесецима јулу и августу. Вриједности HL индекса у поменутом периоду припадају опсегу оптималних услова, односно период термичке угодности код човјека. Мјесеце март и новембар одликује вриједност индекса у износу 0,97 што их према сврстава у прохладни период иако се вриједности HL индекса у овом периоду налазе на самој граници према угодном времену. Према наведеном, период од мјесеца априла до мјесеца октобра, сматрамо угодним и наведене временске услове организм перципира као период без топлотног оптерећења, са високим степеном угодности.

WSI_SB индекс осунчаности (условљава активност сунчања) у скоро свим мјесецима изузев три љетна мјесеца: јуна, јула и августа, показује вриједност непогодности односно непостојање услова за одвијање активности сунчања. Период од јуна до мјесеца августа одликује се условима умјерене погодности за наведену активност. Поменуто тромјесечје је управо период који се одликује највишом средњом мјесечном температуром, релативно малим процентом облачности, те најнижим вриједностима релативне влажности у току године.

WSI_AB индекс провјетрености, односно оцјена могућности за боравак на свјежем ваздуху у хладовини, на планини Бјелашници показује негативне вриједности у виду оцјене бескорисно, изузев августа мјесеца када владају умјерено корисни (погодни) услови за овакву врсту активности. Наведени период мјесеца августа у односу на остале мјесеце у години показује највећу разлику у погледу средње брзине вјетра која је у 8. мјесецу најнижа у току године (свега 4 ms^{-1}), најмањег процента облачности (50%), највише средње мјесечне температуре ($11,0^{\circ}\text{C}$) те најнижи проценат релативне влажности ваздуха (74%), у односу на остали период године.

WSI_MR индекс погодности за мирније активности у свим мјесецима има вриједност -1 па према томе можемо рећи да на планини Бјелашници током цијеле године владају услови умјерене погодности за лаке рекративне активности (табела б). WSI_AR индекс временске погодности за интензивне физичке активности, на простору планине Бјелашнице показује временске услове умјерене погодности за интензивне активности, током цијеле године. Наведени индекс има вриједност 1 у

току свих 12 мјесеци. WSI_ST индекс временске погодности за зимску рекреацију има вриједност 1, од мјесеца јануара до маја, те од октобра до мјесеца децембра. Преостала 4 мјесеца топлијег периода у години карактерише вриједност индекса 0 што означава непогодност за зимске активности будући да је ово период највиших средњих мјесечних температура, минималне облачности и без сњежних падавина изузев ријетке појаве снијега у јуну и септембру, што уочавамо на основу вриједности у табели 5. Према наведеном, на планини Бјелашници током 8 мјесеци у години постоје услови умјерене погоности за бављење зимским спортовима (зимским рекреативним активностима), док у само 4 мјесеца љетног доба владају неповољни услови за поменуте активности.

Закључак

Биоклиматска анализа планине Бјелашнице је вршена на основу средњих мјесечних вриједности метеоролошких параметара за период од 11 година (2000-2010). године. Физиолошки параметри кориштени су у виду константних вриједности: метаболизам 135 Wm^{-2} , што према међународном стандарду ISO 8996 одговара човјеку (старом 30 година, са тјелесном тежином од 75 kg, и висином од 175 cm те са површином тела од $1,8 \text{ m}^2$) или жена (старој 30 година са телесном тежином од 65 kg и висином од 170 cm те са површином коже од $1,6 \text{ m}^2$) који се креће брзином од 4 kmh^{-1} . Такође, биоклиматска анализа заснована је на просјечно обученом човјеку (стандардна пословна одјећа) па смо за вриједност параметра изолације одјеће узели величину 1 clo ($0,155 \text{ m}^{-2}\text{KW}^{-1}$). Код таквих особа топлотни биланс (S) на Бјелашници је негативан током цијеле године чак и у љетном периоду. Према томе, да би дошло до оптималне успоставе равнотеже у организму неопходно је што ефикасније спријечити одавање топлоте са површине тијела у виду ношења вишеслојне одјеће (1,10-1,90 clo) у љетном периоду и просјечно (3 clo) у зимском периоду.

Такође, важно је напоменути да су у сврху ове анализе кориштене мјесечне вриједности за наведени једанаестогодишњи период што пружа само уопштене вриједности топлотног флукса. За потпунију биоклиматску анализу требало би користити метеоролошке вриједности на дневном нивоу.

Конечно, резултати показују да је на Бјелашници током цијеле године присутан топлотни губитак енергије у тијелу човјека. Међутим, као што је наведено, до таквих резултата смо дошли узевши у обзир константну вриједност изолационог параметра током цијеле године. Будући да топлотна изолација тијела не може бити једнака у зимском и љетном периоду сматрамо да је управо то један од разлога постојања топлотних губитака. Топлотни губици су највећи у зимском периоду са тенденцијом смањења топлотних губитака према мјесецу августу. Према томе, прилагођавањем одјевоности и интензитета физичке активности могуће је смањити топлотне губитке код просјечног човјека, док аклиматизоване и физички активније особе могу успјешно задовољити рекреативне потребе на Бјелашници, уз исхрану прилагођену већој енергетској потрошњи те спријечити размјену топлоте са околном хладном средином ношењем одјеће са већом изолационом моћи.

Литература

Литературу видети на страни 98.